

10/502278

REC'D 18 MAR 2003

PCT

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(A) OR (B)



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen:

102 02 688.2

Anmeldetag:

24. Januar 2002

Anmelder/Inhaber:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung eV, München/DE

Bezeichnung:

Verfahren zur Kompensation von Geometriefehlern
von Drehgeberrädern für Verbrennungsmotoren

IPC:

G 01 P, G 01 M

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 4. Februar 2003
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident
im Auftrag

Verfahren zur Kompensation von Geometriefehlern von Drehgeberrädern für Verbrennungsmotoren

Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zur Schätzung und Kompensation von Geometriefehlern von Drehgeberrädern für Verbrennungsmotoren

Stand der Technik

Die hohen Anforderungen bezüglich Komfort und Zuverlässigkeit an moderne Verbrennungsmotoren setzen genaue Diagnose und Steuerungsverfahren voraus. Einen zentralen Punkt hierbei stellt die genaue Erfassung der Kurbelwellenwinkelgeschwindigkeit dar. Diese wird mittels eines Aufnehmers an einem geeigneten Drehgeberrad an der Kurbelwelle selbst oder an der Nockenwelle abgenommen. Hierzu kann beispielsweise der Anlasserzahnkranz oder ein spezielles, für diesen Zweck gefertigtes Drehgeberrad verwendet werden. Diese Drehgeberräder weisen einige Fehlerquellen, wie z.B. ungleiche Zahnteilung durch Fertigungstoleranzen oder Fehler durch unzentrische Lagerung auf. Diese Fehler führen zu nicht tolerablen Abweichungen bei der Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit.

Die bisher vorgestellten Verfahren zur Erkennung und Kompensation der Geometriefehler der verwendeten Drehgeberräder beinhalten für die Praxis nicht tolerable Einschränkungen. Diese beinhalten z.B. die Beschränkung auf Fehler höherer Ordnung, oder die Vernachlässigung der Fehler welche die gleiche Ordnung wie die Zündfrequenz aufweisen. Weitere Verfahren beziehen sich ausschließlich auf die winkelsegmentweise Korrektur, bei der jeweils mehrere Zählinkremente zusammengefasst werden und somit eine Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit nur mit einem auf den Winkelbereich bezogenen Auflösungsverlust möglich ist. Das im folgenden aufgezeigte Verfahren ermöglicht eine einfache Korrektur dieser in der Praxis problematischen Fehler, ohne A-priori-Information über den betrachteten Motor zu benötigen.

Statistisches Verfahren zur Erkennung und Kompensation von Geometriefehlern von Drehgeberrädern für Verbrennungsmotoren

Das erfindungsgemäße Verfahren nutzt die Gegenphasigkeit der Gas- und Massenmomente und deren Einfluss auf die Kurbelwellendrehzahl zur Schätzung und Kompensation der Geometriefehler des Drehgeberrades. Hierzu ist kein A-priori-Wissen über den betrachteten Motor notwendig.

Um die Gegenphasigkeit der Gas- und Massenmomenteinflüsse ausnutzen zu können, müssen bestimmte Drehzahlbereiche betrachtet werden:

- * Bei hohen Drehzahlen dominiert der Einfluss der Massenmomente auf die Kurbelwellendrehzahl,
- * Bei niedrigen Drehzahlen dominiert der Einfluss der Gasmomente auf die Kurbelwellendrehzahl.

Um beide Bereiche betrachten zu können, wird ein Auslaufversuch zur Fehlerschätzung herangezogen. Bei einem Auslaufversuch wird der Motor auf Höchstdrehzahl gefahren und dann abrupt abgestellt. Er läuft dann, gebremst durch sein Reibmoment, bis zum Stillstand aus.



Die Winkelgeschwindigkeit ω wird bestimmt zu:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$$

und wird approximiert durch den Differenzenquotienten:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

Ein Winkelinkrement $\Delta\varphi_r$ des realen Drehgeberrades setzt sich aus einem Anteil $\Delta\varphi_i$, welcher der idealen Teilung entspricht, und einem vom entsprechenden Zahn abhängigen Fehler $\Delta\varphi_e(z)$ zusammen:

$$\Delta\varphi_r(z) = \Delta\varphi_i + \Delta\varphi_e(z)$$

Die mittlere Winkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}$ wird nun für jede Umdrehung n des Auslaufversuchs berechnet. Der mittlere Winkelgeschwindigkeitsverlauf einer Umdrehung wird zu einer Geraden angenähert, deren Steigung sich aus der mittleren Winkelgeschwindigkeit der vorherigen und der folgenden Umdrehung ergibt. Dieser Winkelgeschwindigkeitsverlauf $\omega_n(z)$ gibt nun den Solldrehzahlwert an jedem Zahn der entsprechenden Umdrehung n vor.

Der mittlere Drehzahlverlauf kann auch durch ein geeignetes Polynom höherer Ordnung angeglichen werden. Hierbei steigt die Genauigkeit der Schätzung durch die bessere Approximation des tatsächlichen mittleren Drehzahlverlaufs.

Die Winkelabweichung bezogen auf die Solldrehzahl lässt sich jetzt mit Hilfe dieses mittleren Geschwindigkeitsverlaufs bestimmen. Mit der Zahnfrequenz f_{Zahn_n} , die als Messwert für jedes Kurbelinkrement einer Umdrehung n vorliegt, kann nun $\Delta\varphi_{r_n}(z)$ berechnet werden:

$$\varphi_{r_n}(z) = \frac{\omega_n(z)}{f_{\text{Zahn}_n}(z)}$$

Um den Winkelfehler an jedem Zahn für jede Umdrehung zu erhalten, muss jetzt noch der Anteil der idealen Teilung abgezogen werden:

$$\Delta\varphi_e(z) = \Delta\varphi_{r_n}(z) - \Delta\varphi_i$$

Dieser Winkelfehlerverlauf liegt nun für jede Umdrehung vor. Durch die Verwendung der mittleren Winkelgeschwindigkeit zur Bestimmung der Winkelabweichung werden die durch die zyklische Arbeitsweise des Verbrennungsmotors bedingten Drehzahlschwankungen, also das eigentliche Nutzsignal, zunächst ebenfalls als Winkelfehler interpretiert. Um den Nutzsignalanteil aus der Fehlerschätzung zu beseitigen wird nun eine Scharmittelung der geschätzten Winkelfehlerverläufe jeder Umdrehung über einen bestimmten Drehzahlbereich des

Auslaufversuchs durchgeführt. Hieraus ergibt sich der zu schätzende Geometriefehler zu:

$$\Delta\varphi_e(z) = \frac{1}{k-l} \sum_{n=l}^k \Delta\varphi_{e_n}(z)$$

Ist der Drehzahlbereich, beginnend bei Umdrehung l und endend bei Umdrehung k , richtig gewählt worden, wird der Nutzsignalanteil der auf Grund der Gegenphasigkeit der durch Gas- und Massenmomente verursachten Drehzahlschwankungen herausgemittelt.

Das optimale Mittelungsintervall kann auf unterschiedliche Weise gefunden werden:

- * Manuelle Suche mit Hilfe der Winkelbeschleunigung,
- * Minimierung des integralen Fehlers (manuell oder automatisch).

Um das Mittelungsintervall mit Hilfe der Winkelbeschleunigung zu finden, ist die Drehzahl zu suchen, bei der die Phase der Winkelbeschleunigung "kippt". Ausgehend von diesem Punkt ergibt sich das Intervall, indem eine bestimmte Anzahl Umdrehungen nach beiden Seiten zu dem Intervall gewählt wird. Hierbei ist gegebenenfalls eine gewisse Asymmetrie aufgrund der unterschiedlichen Drehzahlamplituden zu beachten. Deshalb ist diese Vorgehensweise eher zur groben Abschätzung des Geometriefehlers geeignet.

Das richtige Intervall kann auch ermittelt werden, indem nach dem Winkelfehlerverlauf gesucht wird, welcher mit der Nulllinie die kleinste Fläche einschließt, also den kleinsten integralen Fehler bildet. Bei falsch gewähltem Intervall sind im geschätzten Winkelfehler noch sichtbare Nutzsignalanteile vorhanden. Diese Nutzsignalanteile führen jedoch zu einer Vergrößerung der Fläche. Deshalb ist dieser integrale Fehler gut zur Intervallbestimmung geeignet.

Die hierzu notwendige Minimumsuche kann sowohl manuell als auch automatisch erfolgen. Bei der automatischen Intervallbestimmung wird zunächst eine "Startdrehzahl", sinnvollerweise der Beginn des Auslaufs, bestimmt. Die Scharmittelung wird dann, ausgehend von dieser "Startdrehzahl", schritthaltend mit den Umdrehungen durchgeführt. So ergibt sich für jede Umdrehung ein schargemittelter geschätzter Winkelfehlerverlauf. Am Ende des Auslaufs wird dann der Winkelfehlerverlauf gewählt, der die kleinste Fläche mit der Nulllinie einschließt. Die gleiche Prozedur kann jetzt noch vom Ende des Auslaufversuchs beginnend stattfinden, um den Startpunkt zu optimieren.

Es sind jedoch auch andere Wege der Minimumsuche geeignet, um den integralen Fehler zu minimieren und das optimale Mittelungsintervall zu bestimmen.

Wenn der Winkelfehlerverlauf bekannt ist, kann die Kompensation durchgeführt werden. Der kompensierte Winkelgeschwindigkeitsverlauf ergibt sich aus:

$$\omega_{komp} = \frac{\Delta\varphi_r(z)}{f_{Zahn}(z)}$$



Anstelle eines Auslaufversuchs ist auch eine beliebige andere Messung, bei der eine ausreichend große Variation der Phase auftritt, als Basis für das Geberradadaptionsverfahren geeignet. Hierzu zählen im Besonderen auch Schlepp- und Drückungsversuche sowie Leerlaufmessungen mit hoher Drehzahl. Der Auslaufversuch stellt wegen der fehlenden Verbrennung und der einfachen Durchführbarkeit jedoch das Optimum dar.

Bei Motoren mit ungerader Zylinderanzahl ist aufgrund der Symmetrieverhältnisse jede beliebige Messung als Basis für die Geberradadaption geeignet.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Schätzung von Geometriefehlern von Drehgeberrädern für Verbrennungsmotoren, dadurch gekennzeichnet, dass der Zahnfehler aus einer Scharmittelung über einen geeigneten Bereich eines Auslaufversuchs, eines Schleppversuchs oder eines Drückungsversuchs gewonnen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Geometriefehlerschätzung eine beliebige Winkelgeschwindigkeitsmessung (d.h. mit und ohne Verbrennung), welche eine statistisch ausreichende Phasenverteilung aufweist herangezogen wird. Dies gilt im Besonderen auch für Leerlaufmessungen mit hoher Drehzahl.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass im Falle von ungeradzahlig-zylindrigen Motoren eine beliebige Winkelgeschwindigkeitsmessung zur Bestimmung des Winkelfehlers verwendet wird.
4. Verfahren zur Kompensation von Geometriefehlern von Drehgeberrädern für Verbrennungsmotoren, dadurch gekennzeichnet, dass zur Korrektur des Drehzahlsignals ein mit einem Verfahren gemäss der Ansprüche 1 und 6 bis 10 ermittelten Geometriefehler verwendet wird.
5. Verfahren zur Verbesserung der Rundlaufeigenschaften eines Verbrennungsmotors, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bestimmung der Drehzahl ein Verfahren nach Anspruch 1 zur Kompensation der Geometriefehler des verwendeten Geberrades zur

Anwendung kommt.

6. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass Fehler durch eine Drehzahlabhängigkeit des Phasenverhaltens
des verwendeten Aufnehmers berücksichtigt und kompensiert
werden.
7. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass beliebige ein- und mehrzylindrige Verbrennungsmotoren
betrachtet werden.
8. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass bei der Fehlerschätzung sowohl Fehler durch ungleiche
Zahnabstände als auch Fehler durch unzentrischen Einbau
kompensiert werden.
9. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass als Aufnehmer zur Erfassung der Kurbelwellenwinkelgeschwindigkeit
ein induktiver Aufnehmer, ein Hallsensor, ein optischer Aufnehmer oder ein
beliebiger anderer Aufnehmer verwendet wird.
10. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass der zur Mittelung geeignete Bereich der Messung automatisch
ermittelt wird.

Gemessener Winkelgeschwindigkeitsverlauf

Bestimmung der mittleren Winkelgeschwindigkeit für jede Umdrehung

$$\overline{\omega}_n$$

Bestimmung des Auslaufbeginns:
 $n=l$

$$\overline{\omega}_n$$

Approximation des Winkelgeschwindigkeitsverlaufs jeder Umdrehung durch eine Gerade mit:

$$\overline{\omega}_{n-1}, \overline{\omega}_n, \overline{\omega}_{n+1}$$

$$\omega_n(z)$$

Bestimmung der Winkelabweichung:

$$\Delta \varphi_{r_n}(z) = \frac{\omega_n(z)}{\frac{\omega_{Mess}(z)}{2\pi/Z}}$$

mit:

$$\Delta \varphi_{e_n}(z) = \Delta \varphi_{r_n}(z) - \Delta \varphi_l$$

$$\Delta \varphi_{e_n}(z)$$

Sukzessive Scharmittelung über Auslauf und Mittelwertbefreiung

$$j=l+1 \dots m$$

$$\overline{\Delta \varphi_{e_{ij}}}(z)$$

Bestimmung des Minimums des integralen Fehlers und daraus des Endpunktes des Mittelungsintervalls

$$j=k$$

$$\Delta \varphi_{e_{ik}}(z) = \Delta \varphi_e(z)$$

Geschätzter Winkelfehlerverlauf

$$\omega_{Mess}(z)$$

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.